云南植物研究 2006, **28** (2): 199~202
Acta Botanica Yunnanica

姜试管苗移栽过程中的蒸腾及光合性能变化*

刘小阳[1,2], 柏新富[3], 徐德聪[2], 李红侠[2], 王海潮[2]

(1 中国科学技术大学, 安徽 合肥 230061; 2 宿州学院, 安徽 宿州 234000; 3 烟台师范学院, 山东 烟台 264025)

摘要: 用TPS-1型光合测定仪测定了移栽驯化过程中姜试管苗的光合速率、蒸腾速率等生理指标变化, 结果表明: 姜试管苗在移栽过程中叶片表观量子产额、羧化效率、净光合速率逐渐增加, 而蒸腾速率和气孔导度则呈下降趋势, 这有利于试管苗适应外界环境和自养。

关键词: 姜; 试管苗; 移栽; 光合速率; 蒸腾速率

中图分类号: Q 945　　文献标识码: A　　文章编号: 0253-2700(2006)02-199-04

Changes of the Transpiration and Photosynthetic Characteristics in Ginger Test-tube Plantlets after Transplantation

LIU Xiao-Yang[1,2], BAI Xin-Fu[3], XU De-Cong[2], LI Hong-Xia[2], WANG Hai-Chao[2]

(1 *University of Science and Technology of China*, Hefei 230061, China; 2 *Suzhou College*, Suzhou 234000, China;
3 *Yantai Normal University*, Yantai 264025, China)

Abstract: The transpiration and photosynthetic characteristics of ginger test-tube plantlets during transplantation and acclimation were measured and analyzed with a TPS-1 photosynthetic system (PP Systems, UK). The results showed that the apparent quantum yield, net photosynthetic rate and carboxylation efficiency of the plantlets increased substantially but the transpiration rate and stomatal conductance decreased during the acclimation after transplantation. These results indicated that acclimation could greatly improve the capabilities of the plantlets to adapt to natural environment and their autotrophy.

Key words: Ginger; Test-tube plantlet; Transplant; Photosynthetic rate; Transpiration rate

姜 (*Zingiber officinale* Rosc) 亦称"生姜", 为姜科姜属多年生草本植物。原产太平洋群岛, 我国南北各地均有栽培。姜营养丰富, 既可做香辛调料, 也有较高的药用价值, 在我国作为一年生作物栽培, 以肉质根茎供食用, 也是我国出口创汇蔬菜之一 (屈冬玉和李树德, 2001), 在农业生产中占重要地位。目前姜的组培及脱毒已获成功 (王教义等, 1999; 缪静和柏新富, 2004), 但姜试管苗的移栽要从培养容器内移到自然环境下, 即由无菌条件转移到有菌条件下, 由恒温、高湿、弱光转到自然变温、低湿、强光条件下, 幼苗往往因不能适应光照和湿度的剧烈变化而失水萎蔫死亡, 为了调节移栽过程中试管苗的水分关系、提高移栽成活率, 常需加盖塑料棚保湿, 但这样又易引起感染和阳光直射下温度的过高。因此, 控制光照条件和适当的通风应是姜试管苗移栽环境条件控制的关键。相关研究国内在南瓜、甜瓜、葡萄、梨等植物上有一些报道 (柏新付等, 1998; 柏新富等, 2001; 李钧儒, 1994; 侯修胜, 2001), 但姜试管苗在移栽驯化过程中随光照和湿度的逐渐变化发生了哪些适应性变化、怎样才能提高其移栽成活率还未见报道。本试验以姜生根试管苗为材料, 研究其在移栽驯化过程中的光合性能及蒸腾作用的变化, 以便为试管苗的移栽驯化提供理论依据。

---

* 基金项目: 安徽省教育厅自然科学项目基金资助 (2002KJ297)
收稿日期: 2005-06-23, 2005-10-25 接受发表
作者简介: 刘小阳 (1964-) 男, 学士, 现为宿州学院生物学副教授, 主要从事植物生理与分子生物学方面的教学和研究。
电话: 0557-3681431, 13305576307.　E-mail: szliuxy@ sohu com

1　材料和方法

1.1　材料

供试姜（*Zingiber officinale* Rosc）品种为莱芜大姜，取其顶端生长点（< 0.3 mm）在 MS + BA2.0 mg/L + NAA0.1 mg/L 培养基上诱导分化形成无根芽苗，然后在 MS + BA1.0 mg/L + NAA0.2 mg/L 培养基上进行继代增殖培养，取继代培养 40 天、高 3~ 4 cm 的芽苗转入生根培养基（1/2MS + NAA0.5 mg/L）诱导生根，15 天左右开始生根，第 30 天时取生根 8~ 10 条、高 6~ 7 cm 具 5 片叶的试管苗为材料。以上培养均在温度 23~ 27℃、光照强度 20 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 条件下进行。

1.2　方法

1.2.1　移栽驯化　将已生根的试管苗从培养瓶中取出，洗去附着的培养基，选高 6~ 7 cm、具 8~ 10 条根和 5 片叶且长势一致的试管苗移栽至以蛭石为主要基质的营养钵中，置于温室苗床加盖塑料小拱棚培养驯化，前期控制温度 20~ 30℃、相对湿度 90% 以上、光照强度不超过 750 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$。1 周后，在温度控制在 25℃ ± 2℃ 的情况下，逐渐加大通风量以降低湿度，相对湿度保持在 75%~ 85% 之间；同时逐渐减少遮荫以增加自然光照，第 0 天（试管苗出管的当日记为 0 天）最大光强控制 600 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$，以后每隔 4 天提高光强 100 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$，即第 4 天提高到 700 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$、第 8 天提高到 800 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$、第 12 天提高到 900 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$、第 16 天提高到 1000 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$，使其逐渐适应自然环境，直至能够在无任何防护条件下正常生长。

1.2.2　光合、蒸腾指标测定　用英国 PP Systems 公司生产的 TPS-1 光合作用测定系统对移栽驯化期试管苗叶片在不同光照强度、不同 CO_2 浓度下的光合速率、蒸腾速率等生理指标进行测定，在 Excel 下作净光合速率（Pn）- 细胞间隙 CO_2 浓度（Ci）、Pn-光照强度（PFD）响应曲线，并由 Pn-PFD 响应曲线方程求出光饱和点和最大净光合速率（徐坤和邹琦，1998），以线性回归法求出 Pn-Ci 响应曲线的初始斜率 dPn/dCi 为羧化效率、Pn-PFD 响应曲线的初始斜率 dPn/dPFD 为表观量子产量（彭涛等，1998）。每次测定取位置相同的叶片，重复 3 次，取平均值。

2　结果与分析

2.1　姜试管苗驯化期气孔导度和蒸腾速率的变化

气孔导度和蒸腾速率反映气体通过气孔的难易程度及叶片对水分散失的调控能力。试验结果显示（表 1、表 2），刚出瓶的试管苗（移栽驯化 0 天）气孔导度和蒸腾速率很高，随移栽驯化时间的延长则逐渐降低；此外，移栽驯化前期随光照强度增加，气孔导度逐渐减小；而后期则是随光照强度增加，气孔导度先增大后又降低，并逐渐趋于稳定；蒸腾速率也有类似变化。这可能是因为随移栽驯化时间的延长，试管苗叶片已经逐渐适应了外界环境的变化。

2.2　姜试管苗驯化过程中光合性能的变化

2.2.1　利用光能的变化　光量子效率即吸收一个光量子固定和转化的 CO_2 的数量，在光合速率- 光照强度响应曲线图上表现为曲线的初始斜率，由图 1 可见在炼苗后的 0、4、16 天姜试管苗

表 1　姜试管苗驯化期气孔导度的变化（$mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$）

Table 1　Changes of stomatal conductance in ginger tube-plantlets acclimated for different time ($mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)

光照强度 Light intensity（$\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$）	移栽驯化天数 Days after acclimation（d）				
	0	4	8	12	16
0	377.0±21.9	211.7±20.1	93.3±11.6	28.6±2.4	30.7±5.6
43	349.4±30.5	192.2±15.5	108.4±16.7	30.9±5.3	42.6±2.1
102	236.1±18.8	154.7±19.6	112.3±8.3	55.7±7.1	61.6±6.0
205	162.5±12.1	109.8±9.9	77.5±8.2	67.4±6.6	82.0±4.4
416	121.4±15.3	93.5±10.7	59.8±7.7	49.1±3.2	55.5±3.8
600	92.4±11.2	69.8±8.2	51.2±4.9	40.7±4.9	41.4±2.5

表 2　姜试管苗驯化期蒸腾速率的变化（H_2O，$mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$）

Table 2　Changes of transpiration rate at different light intensity in ginger plantlets acclimated for different time (H_2O, $mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)

光照强度 Light intensity（$\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$）	移栽驯化天数 Days after acclimation（d）				
	0	4	8	12	16
0	4.80±0.56	2.93±0.38	1.03±0.22	0.63±0.06	0.43±0.03
43	4.10±0.49	3.02±0.26	1.26±0.14	0.93±0.12	0.81±0.05
102	2.86±0.24	2.37±0.17	1.94±0.20	1.68±0.17	1.14±0.16
205	2.84±0.19	2.21±0.11	2.35±0.18	1.97±0.14	1.78±0.13
416	2.15±0.07	1.96±0.15	2.02±0.08	1.34±0.10	1.51±0.09
600	1.85±0.11	1.66±0.09	1.88±0.16	1.30±0.07	1.47±0.10

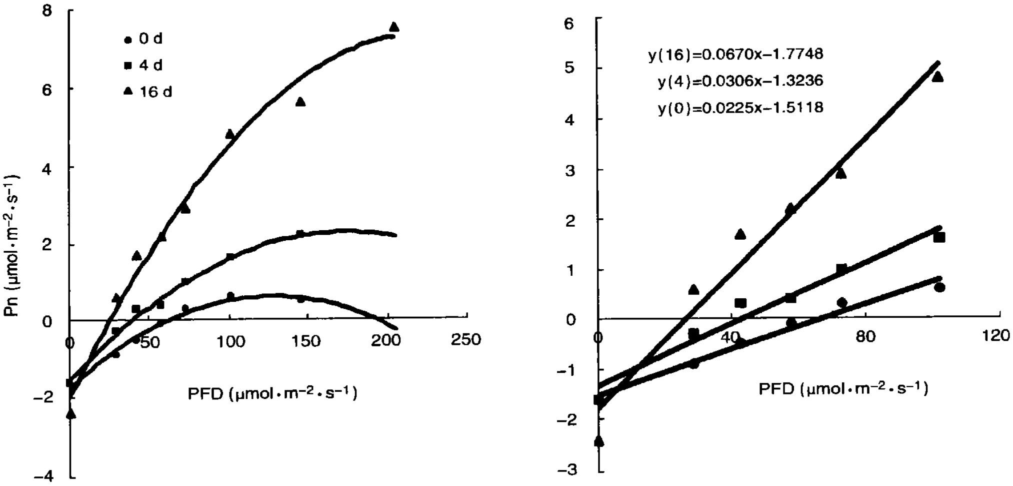

图 1　光合速率- 光照强度响应曲线及其初始部分的线性回归

Fig. 1　Response curve of photosynthetic rate to light intensity and the linear regression of the initial parts of the response curve

表 **3**　姜试管苗驯化期光合性能的变化

Table 3　Changes of photosynthetic parameters in ginger tube-plantlets acclimated for different days

驯化天数 Days of acclimation (d)	0	4	8	12	16
最大净光合速率* Maximum net photosynthetic rate (CO_2, μmol• m^{-2}• s^{-1})	1.31^{aA}	3.09^{bB}	6.88^{cC}	7.54^{dCD}	8.13^{eD}
光饱和点 Light saturation point (μmol• m^{-2}• s^{-1})	127.4^{aA}	175.0^{bB}	223.6^{cC}	234.0^{cC}	252.1^{dC}
光补偿点 Light compensation point (μmol• m^{-2}• s^{-1})	67.2^{aA}	43.3^{bB}	25.2^{cC}	26.5^{cC}	26.5^{cC}
羧化效率 Carboxylation efficiency (μmol• m^{-2}• s^{-1}•μl^{-1}• l)	0.005^{A}	0.012^{B}	0.019^{C}	0.025^{D}	0.036^{E}
CO_2 补偿点 CO_2 compensation point (μl• l^{-1})	160.4^{aA}	119.7^{bB}	93.0^{cC}	97.7^{cC}	91.9^{cC}

注: 数据后字母相同表示差异不显著, 小写字母不同表示差异显著 ($p < 0.05$), 大写字母不同表示差异极显著 ($p < 0.01$)

Note: The same letter means no significant difference, and different letters mean significant difference. The capital letter indicates 1% level of significance; the small one 5% level.

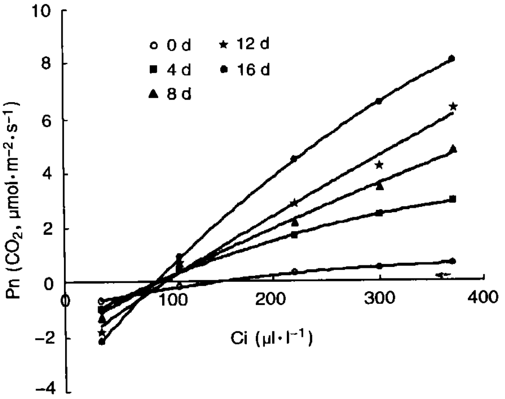

图 2　光合速率- 细胞间隙 CO_2 浓度响应曲线

Fig. 2　Response curve of photosynthetic rate to CO_2 concentration in intercellular spaces

的光量子效率分别为 0.0225、0.0306 和 0.0670, 即在试管苗驯化过程中光量子效率逐渐增大; 同时可以看到, 随着驯化天数的增加, 光合速率和光饱和点也逐渐升高 (表 3); 而光补偿点有逐渐降低的趋势, 0, 4, 16 天的光补偿点分别为 67.19, 43.25, 26.49 μmol• m^{-2}• s^{-1}, 说明试管苗叶片在驯化过程中对光的利用能力逐渐增强, 且对弱光也能很好的利用。

2.2.2　同化 CO_2 能力的变化　光合速率- 细胞间隙 CO_2 浓度响应曲线的初始斜率表示被测叶片的羧化效率即胞间 CO_2 被固定、转化的速率。由图 2、表 3 可见, 随移栽驯化时间的延长, 姜试管苗叶片的 CO_2 补偿点降低、羧化效率和净光合速率逐渐升高, 表明其对 CO_2 的固定和同化能力逐渐增强。

经差异显著性分析显示, 不同驯化天数的试管苗的净光合速率、羧化效率、光饱和点、光补偿点和 CO_2 补偿点在移栽驯化后的前 8 天差异均达极显著水平, 而 8～ 16 天除净光合速率和羧化

效率差异显著外，其他指标差异均未达到显著水平(表3)。说明移栽驯化后的前8天是试管苗为适应外界环境而发生剧烈生理生化变化的时期，也是试管苗移栽能否成活的关键时期。

3 讨论

王 之等(1996)对槐树，李朝周等(1995)对葡萄，袁惠君等(2001)对人参果的试管苗叶片结构及气孔行为能力的研究结果表明，试管苗处于高湿、弱光的离体培养条件下，叶片薄、表皮缺乏蜡质、海绵组织细胞间隙大、栅栏组织发育不完全，气孔保卫细胞发育不完善、开度大且无关闭功能。本试验中，刚出瓶的姜试管苗在弱光或黑暗条件下气孔导度较大、蒸腾失水快，因此，移栽初期保持环境高的相对湿度是防止试管苗过度失水、保证其移栽成活的关键。但随光照强度的增加刚出瓶的试管苗的气孔导度和蒸腾速率有降低趋势，说明姜试管苗的气孔虽无关闭功能，却有一定的调节能力，这与Estrada-Luna等(2003)在辣椒试管苗上的试验结果相似。随移栽驯化时间的延长，特别是在移栽驯化8天以后，姜试管苗的气孔开度和蒸腾速率明显降低，且随光照强度的增加表现出先升高后降低的趋势，说明其气孔已逐渐恢复关闭功能，防失水能力增强。

试管苗在瓶内生长环境的另一个特点是光照强度低，其碳素营养一方面吸收培养基中的糖分，另一方面同化容器中的CO_2，即自养与异养同时进行，叶片的净光合速率很低(李朝周等，1995；郭延平，2001)。本试验结果表明，刚出瓶的姜试管苗净光合速率也较低，在$1.31\ \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$以下。随着出瓶移栽驯化时间的延长和环境光照强度的增加，其净光合速率、羧化速率、光量子效率逐渐升高，光补偿点和CO_2补偿点却逐渐降低，且在第8天以后基本稳定。由此可以认为，姜试管苗移栽后的前8天光合性能迅速提高、气孔导度和蒸腾速率大幅下降是其由半自养半异养向完全自养的转化期，也是其气孔恢复调节功能的重要时期，此期在保持适当湿度的情况下，逐渐增加光照是姜试管苗移栽成活的关键，即在移栽驯化初期减少水分散失、增强光合能力对提高试管苗的移栽成活率具有重要意义。

〔参考文献〕

屈冬玉，李树德，2001. 中国蔬菜种业大观［M］. 北京：中国农业科技出版社，352—356

徐坤，邹琦，1998. 环境因素对生姜光合作用的影响［A］. 见：邹琦，李德全主编：作物栽培生理研究［M］. 北京：中国农业科技出版社，332—334

彭涛，董新纯，高辉远等，1998. PP-Systems便携式光合系统在光合生理生态研究中的应用［A］. 见：邹琦，李德全主编：作物栽培生理研究［M］. 北京：中国农业科技出版社，519—521

Bai XF (柏新付), Zhao JP (赵建萍), Bi KH (毕可华), *et al*, 1998. Study on the transplanting techniques of tissue cultured plantlets of pumpkin [J]. *China Vegetables* (中国蔬菜), (6): 21—23

Bai XF (柏新富), Jiang XM (蒋小满), Zhao JP (赵建萍), *et al*, 2001. Effects of the transplanting factorson survival rate and growth of the tissue cultured plantlets of muskmelon [J]. *Yantai Teachers Univ J-Nat Sci* (烟台师范学院学报-自然科学版), **17** (3): 199—202

Estrada-Luna AA, Davies FTJ, 2003. Arbuscular mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capsicum annuum*) plantlets during acclimatization and post-acclimatization [J]. *J Plant Physiol*, **160** (9): 1073—1083

Guo YP (郭延平), 2000. Studies on photosynthesis of strawberry plantlets *in vitro* [J]. *J Fruit Sci* (果树科学), **17** (3): 202—206

Hou XS (侯修胜), 2001. Study on the transplanting techniques of tissue cultured plantlets of *Pyrus pyrifolia* cv. Whangkumbe [J]. *Deciduous Fruits* (落叶果树), (6): 13—14

Li CZ (李朝周), Zhang LP (张利平), Cao ZY (曹孜义), 1995. Changes of gape test-tube seedling's photosynthetic characteristics after removal from culture [J]. *J Gansu Agric Univ* (甘肃农业大学学报), **12** (4): 202—306

Li JR (李钧儒), 1994. Study on the transplanting techniques of tissue cultured plantlets of grape [J]. *China Fruits* (中国果树), (2): 7—9

Miao J (缪静), Bai XF (柏新富), 2004. Tissue culture of stem apex and shoot rapid propagation of ginger [J]. *Chin Tradit Herb Drug* (中草药), **35** (10): 1178—1180

Wang JY (王教义), Fan GQ (范国强), Zhang P (张平), 1999. Study on techniques of taking off virusand tissue culture of ginger [J]. *Shandong Agric Sci* (山东农业科学), (6): 7—9

Wang ZZ (王 之), Hu ZH (胡正海), 1996. Sem observation of leaf surface structure in process of transplant acclimatization and growth in field of *in vitro* plantlets of *Sophora japonica* [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin* (西北植物学报), **16** (1): 13—16

Yuan HJ (袁惠君), Song ZW (宋占午), Ding L (丁兰), *et al*, 2001. Comparison of *Solanum muricatum* Ait. stomatal behavior between plantlets cultured in test tube and transplanted from test tube to soil [J]. *J Northwest Normal Univ-Nat Sci* (西北师范大学学报-自然版), **37** (4): 89—92